

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-101032

(43)Date of publication of application : 16.04.1996

(51)Int.Cl.

G01B 21/20
G01B 11/24

(21)Application number : 07-144225

(71)Applicant : BERTIN & CIE
SOLLAC

(22)Date of filing : 19.05.1995

(72)Inventor : MAILLART JEAN-LUC H R
LEQUIME MICHEL
BELLAMY PASCALE
DE SMET GABRIEL

(30)Priority

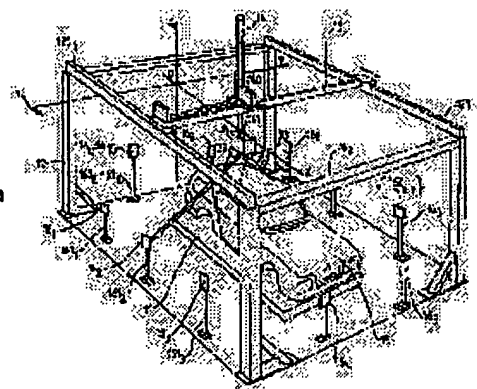
Priority number : 94 9406238 Priority date : 19.05.1994 Priority country : FR

(54) METHOD AND DEVICE FOR THREE-Dimensionally MEASURING SURFACE OF LARGE-SIZE OBJECT

(57)Abstract:

PURPOSE: To measure a three-dimensional shape of a large size object with a high degree of accuracy and at a high speed by converting coordinates of the outer surface of the object measured by a shape measuring sensor into coordinates within a stationary coordinate system in accordance with a sensor position in the stationary coordinate system.

CONSTITUTION: An ultrasonic converter serving as a distance measuring means is attached to the front end of a rack 14 in a crosswise member 13, and an envelope of an overall outer surface of the object 15 to be measured, which is statically set on a measuring bed 11 is approximated. Thus, an approximated wire frame model is automatically created by a computer so as to a measuring position for a shape measuring sensor 3 and a sensor path. Next, the sensor 3 is moved along the path so as to measure the shape of the surface of the object 5 and coordinates of measuring points the same. A position evaluating camera is directed to panels 161 to 169 so as to evaluate the position of the sensor in a stationary coordinate system of the frame 1. Further, Converting determinant calculation from the coordinate system of the sensor 3 and a coordinate position evaluating coordinate system for a position to be measured is carried out so as to obtain a precise coordinate value of the point to be measured on the outer surface of the object 15. Thereby, it is used for creation of a CAD model or the like.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-101032

(43) 公開日 平成8年(1996)4月16日

(51) IntCl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B 21/20	1 0 1 Z			
11/24	Z			

審査請求 未請求 請求項の数14 F D (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平7-144225

(22) 出願日 平成7年(1995)5月19日

(31) 優先権主張番号 9 4 0 6 2 3 8

(32) 優先日 1994年5月19日

(33) 優先権主張国 フランス (F R)

(71) 出願人 595089064

ベルタン エ コンパニー

BERTIN ET COMPAGNIE

フランス国, 78370 プレジール, ア

レジェ, ヴワザン, リュビエール キ

ュリー, 59番地

(74) 代理人 弁理士 山本 恵一

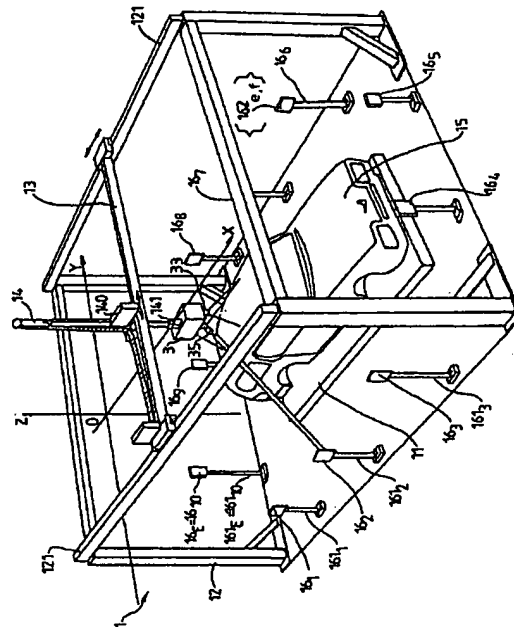
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 大型物体の表面の三次元測定方法及び装置

(57) 【要約】

【目的】 大型物体の表面の三次元測定を早く性格に行うことを目的とする。

【構成】 三次元測定の方法と装置とが、車両などの大型物体(15)の高速高精度測定に利用される。本方法は、形状測定センサ(3)の測定位置を近似的に決定する段階と、物体上の点であってセンサに関わる座標系内で座標が表現される点によって表わされる表面部分の形状を測定するため、測定位置に次々とセンサ(3)を位置決めする段階と、所定の固定座標系内において、近似的に決定された位置におけるセンサの位置を正確に標定する段階と、センサの標定位置に応じて、センサに関わる座標系内で表現される表面部分の座標を固定座標系内で表現される座標値に変換する段階とを含む。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 形状測定手段(3)の測定位置($PM_1 \sim PM_n$)を近似的に決定する段階(E20)と、

形状測定手段に関わる座標系内(0S、XS、YS、ZS)で座標が表現される物体上の点である被測定物体(15)の表面部分の形状を測定する(E33、E34)ため、決められた測定位置に次々と形状測定手段(3)を位置決めする段階と、

所定の固定座標系(0、X、Y、Z)内において、基準点合わせ手段(35)により形状測定手段(3)の各前記位置の正確な位置を求める段階(E35)と

形状測定手段に関わる前記座標系(0、X、Y、Z)内で表現される表面部分の座標を、固定座標系内で決められる形状測定手段の位置に応じて固定座標系内で表現される前記位置の座標に変換する段階(E36)とを含むことを特徴とする、形状測定手段(3)による物体(15)の表面の三次元測定方法。

【請求項2】 測定位置を近似的に決定するという段階(E20)が、

被測定物体(15)の表面を表面ワイヤーフレーム(M_s)処理する段階(E10)と、

各ワイヤーフレーム(M_s)上において少なくとも1つの点(C_s)を選択する段階(E22)と、

前記の少なくとも1つの点(C_s)を通過するワイヤーフレーム(M_s)に対しほぼ直角な軸(AP_s)を定義する段階(E23)と、

ほぼ(AP_s)前記軸上に位置する測定位置(PM_s)を決定する段階(E24)とを含むことを特徴とする、請求項1に記載の測定方法。

【請求項3】 ワイヤーフレーム化の段階(E10)が、

距離測定手段(2)を、測定空間(1)内に分布し連続している所定の位置(PR_s)に位置決めする段階(E12、E13)と

距離測定手段の所定の各位置について、被測定物体(15)からの前記距離測定手段(22)の距離($Z_{s..}$ 、 $Z_{1..}$)を測定する段階(E12、E13)と、

測定された距離に応じて被測定物体(15)のワイヤーフレーム(M_s)を決定する段階(E14)とを含むことを特徴とする、請求項2に記載の測定方法。

【請求項4】 ワイヤーフレーム化の段階(E10)が、

少なくとも1つの距離測定手段(22)を、物体(15)が静置されている支持体(11)に平行な面内に分布し連続している所定の第1位置(PR_s)に位置決め(E12)し、所定の各第1位置について物体からの距離測定手段の第

1距離($Z_{s..}$)を測定する段階(E12)と、第2位置が、所定の間隔内に含まれる物体からの第2距離

($DM + \max(Z_{s..1} \sim Z_{s..n})$)になるよう、第1位置(PR_s)および第1距離に応じて第2位置(ZP_s)を計算する段階(E13)と、

距離測定手段(22)を第2位置(ZP_s)に位置決め(E13)し、所定の各第2位置について、物体からの距離測定手段の第2距離($Z_{1..n}$)を測定する段階(E13)と、

測定された第2距離に($Z_{1..n}$)応じて被測定物体(15)のワイヤーフレーム(M_s)を決定する段階(E14)とを含むことを特徴とする、請求項2に記載の測定方法。

【請求項5】 さらにワイヤーフレーム化の段階(E10)が、形状測定手段(3)の測定位置($PM_1 \sim PM_n$)が全く存在しない少なくとも1つの空間区域を決定する段階を含むことを特徴とする、請求項3または4に記載の測定方法。

【請求項6】 位置標定段階(E35)が、

形状測定手段(3)に連結された位置標定手段(35)を、固定座標系(0、X、Y、Z)内において所定の少なくとも3つの点に次々と向ける段階と、

位置標定手段を連続して目的点に向けるため、固定座標系(0、X、Y、Z)内において位置標定手段(35)の方位を決定する段階と、

3点と方位とによって、位置標定に関わる固定座標系(0R、XR、YR、ZR)を定める段階と

固定座標系(0、X、Y、Z)において位置標定座標系の第1変換行列(TR)を求める段階とを含むことを特徴とする、前記請求項1から5のいずれか一項に記載の測定方法。

【請求項7】 変換段階(E36)が、

位置標定座標系(0R、XR、YR、ZR)において、形状測定手段(3)に関わる座標系(0S、XS、YS、ZS)の第2変換行列(TRS)を求める段階と、

前記第1および第2行列に基づき、位置標定座標系(0R、XR、YR、ZR)において形状測定手段(3)に関わる座標系(0S、XS、YS、ZS)の第3変換行列($TRS \times TR$)を求める段階とを含むことを特徴とする、前記請求項1から6のいずれか一項に記載の測定方法。

【請求項8】 所定の距離測定手段の測定位置(PR_s)について、被測定物体(15)からの距離測定手段の距離($Z_{s..}$ 、 $Z_{1..}$)を測定するための距離測定手段(2)と、

前記距離測定手段(2)を所定の位置(PR_s)に次々に位置決めし、次いで、可動形状測定手段(3)が所定の位置において被測定物体(15)の表面部分の形状を測定するようにするため、所定の位置測定手段の位置(PR_s)と測定距離($Z_{s..}$ 、 $Z_{1..}$)とに応じて前記形状測定手段(3)を所定の位置(PM_s)に位置決

めする手段(12、13、14;31)と、
一、所定の座標系(0、X、Y、Z)内における形状測定手段(3)の位置を求める手段(16、16_a、35)とを含むことを特徴とする、被測定物体に決して接触することのない物体の可動測定手段(3)を含む、本発明による測定方法を実施するための、物体(15)の三次元測定装置。

【請求項9】 距離測定手段(2)が、少なくとも1つの超音波変換器(22)を含むことを特徴とする、請求項8に記載の測定装置。

【請求項10】 距離測定手段が、超音波変換器(22)を担持する1つの台(2)か、超音波変換器を各々担持するほぼ直角な2つの台を含むことを特徴とする、請求項8に記載の測定装置。

【請求項11】 形状測定手段(3)が、被測定物体(15)の表面部分の形状測定用光学センサ(33)を含むことを特徴とする、請求項8から10のいずれか一項に記載の測定装置。

【請求項12】 光学センサ(33)が、平行線照準(331)を照明し物体(15)の各表面部分に次々と照準の像を形成させるための光源(330)と照準の像を検出するための光検出器(334)とを含むことを特徴とする、請求項11に記載の測定装置。

【請求項13】 位置標定手段が、方向とは無関係な方法で測定手段(3)に連結されるビデオカメラ(35)と、固定座標系(0、X、Y、Z)において座標値がわかっている位置標定目標(162、16_a)が前面にあるような位置標定用固定パネル(16、16_a)とを含むことを特徴とする、請求項8から12のいずれか一項に記載の測定装置。

【請求項14】 距離測定手段(2)と形状測定手段(3)の少なくとも一方が、前記の、距離測定手段と形状測定手段(3)の少なくとも一方の移動時に障害物が近くにあることを検出する手段を含むことを特徴とする、請求項8から13のいずれか一項に記載の測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は物体、より詳細には大型物体の三次元測定方法、ならびに被測定物体に決して接触することのない可動測定手段を含む三次元測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】多くの三次元測定機が知られている。測定学においてはたとえば従来よりC形機械が使用されている。この種の機械は良好な測定精度をもたらすが、典型的には寸法が1m未満重量が100kg未満の小型軽量被測定物体にしか使用できない。門形、T字形、あるいは橋形の機械は大型物体の測定に適しているが、その構造の不均質性とそれが含む可動部品点数が故に、精度

はあまりすぐれていない。

【0003】他方、たとえば長さが5~10mの大型物体の場合、たとえば被測定物体の周囲を移動可能な2つのセオドライトを含む交差測定システムを使用することが知られている。セオドライトを移動し位置決めを行う度毎に、固定基準点およびもう一方のセオドライトに対する各セオドライトの方向を必ず決定しなければならない。次に一点ずつ測定が行われる。交差測定システムによって実現される測定精度はC形三次元測定機によって得られる精度と同程度である。しかしながら2つのセオドライトの実施には技巧が必要であり、物体の測定には長時間を要する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、先行技術によるよりもより高速でより精度が高く、大型物体の形状が正確に測定できる三次元測定方法を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】この目的のため、形状測定手段による物体の表面の三次元測定方法は、

一形状測定手段の測定位置を近似的に決定する段階と、
一形状測定手段に関わる座標系内で座標が表現される物体上の点である被測定物体の表面部分の形状を測定するため、決められた測定位置に次々と形状測定手段を位置決めする段階と、

一特定の固定座標系内において、基準点合わせ手段により形状測定手段の各前記位置の正確な位置を求める段階と

一形状測定手段に関わる座標系内で表現される表面部分の座標を、固定座標系内で決められる形状測定手段の位置に応じて固定座標系内で表現される前記位置の座標に変換する段階とを含むことを特徴とする。

【0006】本発明の意味においては測定手段の位置は、位置決定すなわちある座標系内での測定手段の座標だけでなく、測定手段の方位すなわちこの方位についての方向パラメータによっても定義される。

【0007】測定位置を近似的に決定するという予備段階は、物体の概略形状を把握し後の位置測定段階を支援する学習である。前記予備段階は、

一被測定物体の表面を表面ワイヤーフレーム処理する段階と、

一各ワイヤーフレーム上において少なくとも1つの点を選択する段階と、

一前記の少なくとも1つの点を通過するワイヤーフレームに対しほぼ直角な軸を定義する段階と、

一ほぼ前記軸上に位置する測定位置を決定する段階とを含む。

【0008】第1実施形態によれば、ワイヤーフレーム化の段階は、

一距離測定手段を、測定空間内に分布し連続している所

定の位置に位置決めする段階と

—距離測定手段の所定の各位置について、被測定物体からの距離測定手段の距離を測定する段階と、

—測定された距離に応じて被測定物体のワイヤーフレームを決定する段階とを含む。

【0009】より詳細には、ワイヤーフレーム化の段階は、

—少なくとも1つの距離測定手段を、物体が静置されている支持体に平行な面内に分布し連続している所定の第1位置に位置決めし、所定の各第1位置について物体からの距離測定手段の第1距離を測定する段階と、

—第2位置が、所定の間隔内に含まれる物体からの第2距離になるよう、第1位置および第1距離に応じて第2位置を計算する段階と、

—距離測定手段を第2位置に次々に位置決めし、所定の各第2位置について、物体からの距離測定手段の第2距離を測定する段階と、

—測定された第2距離に応じて被測定物体のワイヤーフレームを決定する段階とを含む。

【0010】さらにワイヤーフレーム化の段階は、形状測定手段の測定位置が全く存在しない少なくとも1つの空間区域を決定する段階を含む。

【0011】ワイヤーフレーム化の段階に含まれる諸段階は、位置決めおよび測定の精度を要求しないので高速で実行される。決定されたワイヤーフレームは被測定物体の近似モデリングである。変形として、これらの段階をたとえば前記モデリングによる被測定物体の先験的知識に置き換えることが可能である。

【0012】本発明の別の実施形態によれば、位置標定段階は、

—形状測定手段に連結された位置標定手段を、固定座標系内において所定の少なくとも3つの点に次々と向ける段階と、

—位置標定手段を連続して目的点に向けるため、固定座標系内において位置標定手段の方位を決定する段階と、

—3点と方位とによって、位置標定手段に関わる固定座標系を定める段階と

—固定座標系において位置標定座標系の第1変換行列を求める段階とを含む。また、変換段階は、

—位置標定座標系において、形状測定手段に関わる座標系の第2変換行列を求める段階と、

—第1および第2行列に基づき、固定座標系において形状測定手段に関わる座標系の第3変換行列を求める段階とを含む。

【0013】測定手段の位置を決める段階と測定結果を変換する段階とは、最終測定結果の精度が確保されるよう高い精度で実施されることが好ましい。

【0014】本発明は、被測定物体に決して接触することのない可動測定手段を含む、本発明による測定方法を実施するための三次元測定装置にも関する。本発明によ

れば、同装置は、

—距離測定手段の所定の測定位置について、被測定物体からの距離測定手段の距離を測定するための距離測定手段と、

—距離測定手段を所定の位置に次々に位置決めし、次いで、可動形状測定手段が所定の位置において被測定物体の表面部分の形状を測定するようにするため、所定の位置測定手段の位置と測定距離とに応じて形状測定手段を所定の位置に位置決めする手段と、

10 —所定の固定座標系内における形状測定手段の位置を求める手段とを含む。

【0015】距離測定手段は、少なくとも1つの超音波変換器か、超音波変換器台か、超音波変換器を各々担持するほぼ直角な2つの台を含む。

【0016】別の特徴によれば、形状測定手段は被測定物体の表面部分の形状測定用光学センサを含む。

【0017】位置標定手段は、方向とは無関係な方法で測定手段に連結されるビデオカメラと、固定座標系において座標値がわかっている位置標定目標が前面にあるような位置標定用固定パネルとを含むことが好ましい。

【0018】位置標定手段が、被測定物体を取り囲む支持構造上にある横断材および／または可動ラックなどの要素である場合、形状測定手段はその移動時に障害物が近くにあることを検出する手段を含むことが好ましい。たとえば、障害物は支持構造の支柱である。

【0019】本発明の他の特徴と長所とは、図面を参照して行う以下の好ましい諸実施形態の説明を読むことにより、よりよく理解されよう。

【0020】

30 【実施例】図1について説明する。三次元測定装置は、図示されていないコンピュータによって制御される橋型測定フレーム1を含む。フレームは、被測定物体を支承するため地面に支持される台11の上方および周囲にたとえば立方体などの平行六面体空間を形成する支柱および梁12の固定構造を含む。

【0021】平行六面体空間の上側の2つの長辺を形成する水平平行梁はそれぞれレール121を支持してい

る。2つの平行レール121の上では、前記空間の上面を形成する水平面内を移動することが可能な横断材13

40 の端部を構成する、駆動と従動の2つの送り台が案内される。横断材13は、垂直面内においてラック14を横断材13の長手方向および対角線方向に同時に移動する

手段を支持する送り台140のための案内レールを構成している。ラック14の下端には、後で詳細に説明する

特に測定センサなどの器具の把握用の把握器具141が固定されている。その結果ラック14の下端は、前記平行六面体空間の内部の多くの位置間での移動が可能である。

横断材13とラック14の移動は、コンピュータによって制御される、図示されていない直流駆動モータユ

50 ニットにより実現される。フレームはまた、可動要素す

なわち横断材およびラックの移動によって生じる振動を緩衝するため、図示されていない振動緩衝器を含むか、あるいは図示されていない浮き床の上に設置される。

【0022】フレームの寸法は被測定物体の大きさに依存する。たとえば長さが約10m、幅が約8m、高さが5mのフレームは大型物体の測定用とされる。図1においては、被測定物体はたとえば車両もしくは自動車15の車体、または変更をうけた車体部品、または機械の外装であって、台11上に静置され、あるいは測定時間中動かないようにするため場合によっては同台に固定される。

【0023】変形例においては、フレームの代わりに、T字形構造物、またはレール上に案内される関節ロボットが使用される。

【0024】フレーム1は、原点0と0に集まる3つの軸X、Y、Zとを含む直交座標系をもっている。原点0はフレームの短辺上にあり、X軸は水平でフレームの長辺に対し平行であり、Y軸は水平でフレームの短辺に対し平行であり、Z軸は垂直で前記短辺内に含まれる。座標系(0、X、Y、Z)の位置と方位は任意に決められ、決められた後は一定である。実際には座標系(0、X、Y、Z)は、測定センサの較正または検定が可能な固定式で水平なテーブルまたは大理石で実現される。

【0025】測定装置はさらに標点パネル16₁、～16_Eを含む。その役割については後述するが、Eはたとえば10などの正の整数を示す。各標点パネル16₁、～16_Eは、測定空間の外側の床面に配設され測定空間の周囲に分布する、垂直棒をもつ堅固な支持体161₁、～161_E上に固定されている。垂直棒161₁、～161_Eは諸パネルが異なった高さになるようそれぞれ長さが異なっている。パネル16₁の面のうちの1つであって測定空間側に向いている面は、同面上に様に配分された標的162_{1,1}、～162_{1,E}を含む。ここで指数eは1からEまで変化する。指数fは1から数十程度の整数Fまで変化するが、各標的162_{1,f}はたとえば円盤、リングなど、小型の分散平面である。変形例においては、標的162_{1,f}は、全方向に様に分布するようにして光を分散する特徴をもつ分散球である。標的は、各標点パネルにつき1つまたは2つの光源というように、図示されていない光源によって照明される。パネル16₁、～16_Eは安置されており、各標的162_{1,f}の位置は、各標的が固定座標系(0、X、Y、Z)の座標点によって標定されるようたとえばセオドライトを用いた測定により標定される。

【0026】図2を参照しながら三次元測定方法について説明する。同方法は、コンピュータにおいてプログラムされた4つの主な段階E10～E40を含むアルゴリズムの形態で実現されている。

【0027】段階E10では、被測定物体の全体の表面包絡線を近似的に決定する。この段階が終了すると被測

定物体の近似ワイヤフレームモデルが生成される。主段階E10は4つの段階E11～E14を含む。これについては図3を参照しながら説明を行う。

【0028】主段階E20では、段階10で決められた物体のワイヤフレームにしたがって、被測定物体の周囲における形状測定センサの経路を決定する。主段階E20は6つの段階E21～E26を含む。これについては図7を参照しながら説明を行う。

【0029】主段階E30は、前記で定めた経路にしたがいセンサにより行う、本来の意味での、物体の表面部分の三次元測定に関する。同段階は、センサの移動と、物体の表面部分の形状の測定と、センサ位置の標定とを含む。これについては図10を参照しながら段階E31～E37で説明を行う。段階E30が終了すると、被測定物体の表面の測定点の正確な座標値が得られる。

【0030】主段階E40では、物体の数学的モデルであってたとえばCAD(コンピュータ支援設計)ソフトウェアによって活用されるためのモデルを決めるため、段階E30で得られた測定点の全部を処理する。このモデルはとくに、物体とCADソフトウェアによって作成されたそのモデルとの比較、物体とそれを実現するために使用した型打ち機器のモデルとの比較、さらには形状クレイモデルなどのプロトタイプのモデリングのためのものである。

【0031】主段階E40は、実施された三次元測定の所望の用途によって異なる段階である、ワイヤフレーム化と、補間と、スムージングの段階を含む。

【0032】図3について説明する。測定台11上に静置されている物体15の全体の表面包絡線を決定する段階E10は、超音波変換器という形態の距離測定手段をフレーム上に取り付ける第1段階E11を含む。

【0033】次に図4について説明する。変換器台2は、N個の変換器22₁、～22_Nが取り付けられているH型支持ビーム21を含む。ここでNは被測定物体とフレームの寸法によって決まる整数であり、ここに説明するフレームの場合Nはたとえば24である。台2はさらに、変換器22₁、～22_Nと図示されていないコンピュータとの間の信号の成形とやりとりのための電子回路23と、変換器と回路23とに電源を供給する電源回路24と、フレームのラック14の把握装置141によって把握される把握端25とを含む。

【0034】変換器22₁、～22_NはH型ビーム21にそって規則正しく一列に配置され同一の方向に向けられているため、変換器の放射円錐26₁、～26_Nが全てH型ビーム21に対し直交する同一の方向に向いている。変形例においては、H型ビーム21の片方の端部または両端に位置する変換器は、H型ビーム21に対し直交する方向に対し、軸が若干の角度を成しH型ビーム21の中心に向かう図4の面内に向けられている放射円錐をもつので、被測定物体15のほぼ垂直な縁は後述する移動

および測定サイクル時に端部の変換器により「掃査」される。別の変形例によれば、変換器は、H型ビーム21に対し直交する方向に対し、軸が若干の角度を成すが今度は図4の面の前方または後方に向けられる放射円錐をもつ。

【0035】いずれの場合も、超音波変換器はおおよそ0.5～5mの測定範囲内において1cm程度の分解能と、おおよそ15°～30°の放射円錐をもつ。

【0036】変換器台2は、ラック14の把握器具141に連結された台の把握端25を介してラック14に固定される。取り付けは作業者の手作業によって行われるか、制御されている器具交換装置によって自動的に行われる。台2がラック14の下端に取り付けられると、台2は横断材13に対し平行となり、フレームの支柱の間の、フレーム1の下側の平行六面体空間の幅全体を占める。

【0037】変換器の放射円錐は垂直に下に向けられる。別の変形例の場合、幾つかの放射円錐が若干フレームの中心側に向けられるか、若干、図4の面の前方または後方に向けられる。

【0038】図5について説明する。段階E12は、台2がフレームの最も高い端部に来るような位置PR₁への台2の移動を含む。この位置はたとえば、原点0と台2の中心27との一致に相当する。その時台の長軸は軸Yに一致する。

【0039】段階E12は、軸Xに沿った変換器台の移動サイクルを含む。その際、台は軸Z上において寸法が一定であり軸Yに平行である。この移動サイクル中、台2はフレームの軸X上の全寸法に分布する横座標X₁～X_Mにそれぞれ対応する、複数の連続する第1位置PR₁～PR_Mに移動し位置決めされる。このようにして台2は、被測定物体15が静置されている水平台11に平行な水平面に広がっている。第1位置の数Mと、隣接する2つの第1位置間の距離とは一定であるか、被測定物体の寸法に応じて作業者が選択できる。隣接する2つの測定位置間の距離は、図9を参照して詳細に説明する段階E30において使用される測定センサの作用域の寸法よりも小さいことが好ましい。

【0040】mを1からMまでの整数の指数とした時、変換器22₁～22_Mの作動を開始することにより台2の各第1位置PR₁（X₁）において一連の測定が行われる。nを1からNまでの整数の指数とした時、作動を開始した変換器22_nは下方に超音波束を発信し、反射エコーの受信時間に応じて束が走った距離を評価する。

【0041】複数の変換器によって受信されるエコー間の干渉を防止するため、変換器22₁～22_Mは順次作動を開始させることが好ましい。台2が位置PR₁にある時の変換器22₁による測定の結果は第1三重項（X₁、Y₁、Z_{1,1}）である。ここでX₁は軸X上の台2の第1位置PR₁の横座標であり、Y₁は軸Y上の変換

器22₁の第1位置であり、Z_{1,1}は、台の寸法に対する物体からの垂直方向の第1距離で表わされる、変換器22₁による測定の結果である。三重項（X₁、Y₁、Z_{1,1}）はコンピュータに記憶される。台2が軸X上のフレームの全寸法を移動した後は、M×N個の第1三重項（X₁、Y₁、Z_{1,1}）～（X_M、Y_M、Z_{M,N}）が記憶される。

【0042】近接する寸法Z_{1,1}、Z_{1,2}、Z_{1,3}、Z_{1,4}、Z_{1,5}に対するしきい値と最も異なる寸法値Z_{1,6}などの異常値を選別し排除するため、三重項に対し一貫性についての検証が行われる。一貫性についての検証の結果は修正三重項集合（X₁、Y₁、Z_{1,1}）であり、以下に説明する段階E13の移動サイクルの経路を決定するのに使用される。

【0043】段階E13は、横座標X₁からX_Mまでの台2の移動サイクルを含みやはり軸Yの移動は行わないが、ここでは、前に測定された第1位置Z_{1,1}に応じて決定された第2寸法ZP₁～ZP_Mにて実行される。

【0044】この移動サイクルの目的は被測定物体をより正確に測定することである。この目的のため、台2が、被測定物体からの第2測定距離DMであって典型的にはおおよそ0.6～1mの所定の間隔になるような距離に位置するよう、台2の垂直位置ZP₁が計算される。たとえばZP₁という値は、距離DMが加算された測定値Z_{1,1}～Z_{1,N}のうちの最大値に等しい。変形例においては値ZP₁は、距離DMが加算された測定値Z_{1,1}～Z_{1,N}の平均値と、DMより少ない最小測定距離であって超音波変換器の場合おおよそ0.4mに等しい距離が加算された測定値Z_{1,1}～Z_{1,N}のうちの最大値の両者のうちの最大値に等しい。いずれの場合にも、衝突を防止するため台2と被測定物体15の間には最小安全間隔が設けられている。

【0045】台2の第2寸法ZP₁が求められると、台2は、横座標X₁と寸法ZP₁とで決められる各第2位置に次々と位置決めされ、段階E12における一連の測定と同様の方法で一連の第2測定位置の測定が行われる。対応する変換器と物体15との垂直方向の距離である各第2測定距離は、全ての第2距離が前に設定した座標系（0、X、Y、Z）における値として示されるよう、台2の寸法の値だけ補正される。変形例においては、第2寸法ZP₁の計算後すぐ、座標値X₁とZP₁とで決められる位置への台の位置決めが行われ、次いで変換器22₁～22_Mより次々と測定が行われる。次に、次の第2位置に対応する第2寸法が計算される。以下は同様である。いずれの場合も、台が軸X上のフレームの全寸法を移動した後は、台は再度位置PR₁に位置決めされ把握器具141から分離される。固定座標系内で数値が示されるM×N秒の三重項（X_{1,1}、Y_{1,1}、Z_{1,1,1}）～（X_{1,M}、Y_{1,M}、Z_{1,M,N}）は記憶されるが、X_{1,1}からX_{1,M}までは台の横座標値を意味し、

Y1₁ から Y1_n までは変換器 2 2₁ ~ 2 2_n の縦座標値を意味し、Z1_{1,1} から Z1_{n,n} までは、相次いで測定を行った物体 1 5 の寸法である。三重項 (X1₁、Y1₁、Z1_{1,1}) は被測定物体 1 5 の近似である。フレーム 1 の梁および支柱の位置決めおよび寸法が不正確であることと、フレーム 1 に対する台 2 の位置が不正確であること、超音波変換器の分解能の理由から、この近似は精度が低い。しかしながらこの近似は高速で実行される。第 1 変形例によれば、隣接する 2 つの変換器の間隔よりも少ない軸 Y 上の測定ピッチを作業者が選択できるよう、台 2 は隣接する 2 つの変換器の間隔以下の移動量で軸 Y を移動することができる。より高速だが精度は劣る第 2 の変形例によれば、段階 E 1 3 は行われず、三重項 (X1₁、Y1₁、Z1_{1,1}) の代わりに E 1 2 で求められた三重項 (X₀、Y₀、Z_{0,0}) が行われる。これら 2 つの変形例のうちどちらを選択するかは速度と精度のどちらに重きを置くかによるので、物体の形状の複雑さの程度と物体の要求再現精度とに応じて作業者が選択することが好ましい。

【0046】変形例においては、台 2 の代わりに、水平に横断材 1 3 に固定された第 1 変換器台と、横断材 1 3 の端部に垂直すなわち第 1 台に対しほぼ直角に固定された第 2 変換器台とを使用する。第 1 台の変換器は下方に向けられ第 2 台の変換器は水平にフレームの中心に向けられる。複数の台によって支持される 2 組合計約 40 個の変換器は、軸 X を横断材 1 3 の全行程にわたって移動する。その際、軸 Y および Z の座標値は一定である。最初の移動の際、垂直台はたとえば横断材 1 3 の片方の端に固定され、次に 2 回目の移動の際にはもう一方の端に固定され、図 1 において被測定物体 1 5 の長辺である 2 つの対向する辺を走査する。

【0047】別の変形例によれば、変換器台 2 の代わりに、ラック 1 4 の把握器具 1 4 1 に連結された支持体に取り付けられた 5 個の超音波変換器が使用される。支持体の移動時の衝突を防止するため、5 個の超音波変換器のうちの 4 個が水平面の 4 方向に向けられ、支持体の移動時、障害物が近くにあることを検出する。5 番目の変換器は垂直に下に向けられ測定に使用される。変換器支持体は、連続する 2 つの移動・測定サイクルにしたがい移動する。第 1 移動・測定サイクルは不変の最大高さで実行され、5 番目の変換器が先に定めた座標点 (X₀、Y₀) に次々と位置決めされるよう変換器支持体を軸 X および Y の複数の位置に位置決めする。第 2 移動・測定サイクルは、第 1 サイクルの測定に応じて異なる高さで実行される。測定値について一貫性の検証が行われる。

【0048】さらに別の変形例によれば、距離測定手段が、超音波変換器ではなくたとえばレーザセンサが物体 1 5 の高速測定が可能な別の測定手段である。

【0049】いずれの場合も、被測定物体の「単純」ワイヤーフレームを求めるため段階 E 1 4 において M×N

個の第 1 三重項 (X1₁、Y1₁、Z1_{1,1}) が使用される。このワイヤーフレーム化処理は四辺形または三辺形表面である表面ワイヤーフレーム M₁ ~ M_k を含む。ここで K は整数である。ワイヤーフレームは、寸法値 Z1_{1,1} に対する平滑化により平面とすることが好ましい。各ワイヤーフレーム M_k の表面積は、図 9 を参照して詳細に説明する段階 E 3 0 で使用される測定センサの作用域よりも小さい。整数の指数である k は 1 と K の間にある。

10 【0050】ワイヤーフレームはコンピュータによって自動的に生成され、あるいは作業者との対話によって生成される。その場合、中間点が生成される区域と、たとえば測定寸法が水平台 1 1 の寸法に対応する区域と被測定物体 1 5 の寸法には対応しない区域などワイヤーフレーム化を行わない区域とを作業者が選択する。

【0051】図 6 について説明する。各々座標値が (X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,1})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,2})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,3})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,4})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,5})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,6})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,7})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,8})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,9})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,10})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,11})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,12})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,13})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,14})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,15})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,16})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,17})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,18})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,19})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,20})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,21})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,22})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,23})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,24})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,25})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,26})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,27})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,28})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,29})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,30})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,31})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,32})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,33})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,34})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,35})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,36})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,37})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,38})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,39})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,40})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,41})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,42})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,43})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,44})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,45})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,46})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,47})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,48})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,49})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,50})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,51})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,52})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,53})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,54})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,55})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,56})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,57})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,58})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,59})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,60})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,61})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,62})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,63})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,64})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,65})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,66})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,67})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,68})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,69})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,70})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,71})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,72})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,73})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,74})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,75})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,76})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,77})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,78})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,79})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,80})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,81})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,82})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,83})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,84})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,85})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,86})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,87})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,88})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,89})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,90})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,91})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,92})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,93})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,94})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,95})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,96})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,97})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,98})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,99})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,100})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,101})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,102})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,103})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,104})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,105})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,106})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,107})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,108})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,109})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,110})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,111})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,112})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,113})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,114})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,115})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,116})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,117})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,118})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,119})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,120})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,121})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,122})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,123})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,124})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,125})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,126})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,127})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,128})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,129})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,130})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,131})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,132})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,133})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,134})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,135})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,136})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,137})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,138})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,139})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,140})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,141})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,142})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,143})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,144})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,145})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,146})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,147})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,148})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,149})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,150})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,151})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,152})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,153})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,154})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,155})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,156})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,157})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,158})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,159})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,160})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,161})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,162})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,163})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,164})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,165})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,166})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,167})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,168})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,169})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,170})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,171})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,172})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,173})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,174})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,175})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,176})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,177})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,178})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,179})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,180})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,181})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,182})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,183})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,184})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,185})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,186})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,187})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,188})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,189})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,190})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,191})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,192})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,193})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,194})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,195})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,196})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,197})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,198})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,199})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,200})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,201})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,202})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,203})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,204})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,205})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,206})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,207})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,208})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,209})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,210})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,211})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,212})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,213})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,214})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,215})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,216})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,217})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,218})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,219})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,220})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,221})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,222})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,223})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,224})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,225})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,226})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,227})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,228})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,229})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,230})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,231})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,232})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,233})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,234})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,235})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,236})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,237})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,238})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,239})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,240})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,241})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,242})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,243})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,244})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,245})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,246})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,247})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,248})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,249})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,250})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,251})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,252})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,253})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,254})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,255})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,256})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,257})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,258})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,259})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,260})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,261})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,262})、(X1_{0,1}、Y1_{0,1}、Z1_{0,1,263})、(X1_{0,1}、Y1

ンサの移動時の衝突の危険性をなくすようにするため、 $M \times N$ 個の第1三重項($X1_{..}$ 、 $Y1_{..}$ 、 $Z1_{..}$)が用いられる。禁止区域とは、たとえばセンサにとって障害物となり得る障害物を包含する四辺形であり、障害物の周囲に安全のための余裕を設けたものである。

【0055】変形例においては、たとえば、点 $P_{..}$ に類似した点またはワイヤーフレーム M_k に類似した点による物体のモデリングが、段階E20ですでに記憶され使用可能な時、主段階E10または段階E11~E14の一部をなくしてしまうことが可能である。

【0056】図7について説明する。主段階E20は、各ワイヤーフレーム $M_1 \sim M_k$ において次々と実行される一連の処理を含む。段階E21は最初のワイヤーフレーム M_1 のための処理の初期化である。段階E22では、ワイヤーフレーム M_k の中心 C_k が決められる。ここで k は1から段階E14で決められたワイヤーフレーム数 K までの数であって、ワイヤーフレーム M_k が図6に例示するような四辺形である時その頂点を通過する直線の線分の交点の幾何学計算によって決まる数である。一般的に、中心 C_k はワイヤーフレーム M_k の重心である。変形例においては、段階E22が、ワイヤーフレーム1つあたり少なくとも1つの点が投影されるよう、所定の点のグリッドをワイヤーフレーム $M_1 \sim M_k$ に投影する段階に代えられる。その結果、その後の中心 C_k は投影点に置き換えられる。段階E23は、ワイヤーフレーム M_k に対しほぼ直角であって中心 C_k を通る軸 AP_k を決定する段階である。

【0057】段階E24では、ワイヤーフレーム M_k についての測定位置 PM_k が決められる。測定位置 PM_k は、下記に詳細に説明する手段3の光学センサである形状測定手段が位置決めされる空間内の点である。測定位置 PM_k の決定にあたっては以下のような条件が課せられる。

—測定位置 PM_k とワイヤーフレーム M_k の中心 C_k との間の距離は、たとえば $1250\text{ mm} \pm 150\text{ mm}$ 等、測定センサに依存する最良測定位置である所定の値 DOM に等しいこと。

—撮影のための光学軸がワイヤーフレーム M_k の表面に対し「直角」になるようにするか、機械的な理由からセンサをワイヤーフレーム M_k に対し直角に位置決めすることができない場合ワイヤーフレームの垂線に対し若干傾斜するようにするため、測定位置が中心 C_k を通過する軸 AP_k 上に位置すること。

—測定位置からセンサにとって少なくとも3つの位置標定パネル $16_{..}$ 、 $16_{..}$ 、 $16_{..}$ が見えること。ここで h と i の指数は、 e とは異なり1から E までの数値である。

—被測定物体15上でセンサによって測定された表面部分は、測定された隣接する表面部分を部分的に覆わなければならない。

【0058】ある測定点においてこれらの条件が相対する場合、作業者によってこれら条件に優先順位が与えられるか、作業者がある条件を除外するか、ある1つのみのワイヤーフレームについて、ワイヤーフレーム M_k について少なくとも1つの測定位置を決めるため各条件が前記の条件を満たすような複数の測定位置が決定される。

【0059】測定位置 PM_k は記憶され、—固定座標系(0、X、Y、Z)内で表現される座標値(XM_k 、 YM_k 、 ZM_k)であらわされるセンサ位置—水平面(0、X、Y)に対する光学軸の位置 SM_k と、たとえば軸Xなど座標系の3軸のうちのいずれかに対するセンサの光学軸の方位 GM_k とで表わされる、センサの向きを含む。

【0060】段階E25は、測定位置 $PM_1 \sim PM_k$ を決定するためにワイヤーフレーム $M_1 \sim M_k$ が全て選択されたかどうかを確認する段階である。未選択のワイヤーフレームがある場合、新しいワイヤーフレームについて段階E22~E24が実行される。ワイヤーフレームがすべて処理されると、 R 個の測定位置 $PM_1 \sim PM_k$ が記憶される。ここで R は K 以上の整数である。

【0061】段階E26は、測定位置 $PM_1 \sim PM_k$ を接続するための形状測定センサの経路 TC を求める段階である。一連の位置間における追尾が可能な限り一方向になり経路全体にわたりセンサの移動量を最小にするよう、経路内の位置の順序が選択される。記号を複雑にしないようにするため、以下の説明においては、経路内に配置された位置を、経路内の順序による連続番号 $PM_1 \sim PM_k$ に名称を変えたと仮定する。

【0062】経路 TC は、連続する2つの位置 PM_k と PM_{k+1} との間において、最良の測定距離 DOM において物体のワイヤーフレームにしたがうが、センサが所定の安全距離 DS 以下に接近することはない。図6に示すように、特に凸部をはじめ経路全体にわたり安全距離 DS が確実に確保されるようにするため、2つの測定位置、 PM_k と PM_{k+1} 、の間の経路中間点 $PIT_{k..}$ ~ $PIT_{k+1..}$ の座標値が計算される。

【0063】経路を完全に決定するということは、2つの測定位置間の移動について、

—軸X上の横断材13か

—横断材13または軸Zに沿った軸Y上のラックか

—以下に説明する、回転中の測定センサかの中のいずれか1つの少なくとも1つの移動を決めることである。

【0064】前記移動には、振動を最小化するために選択された速度と加速度が結び付けられる。この経路の決定はロボット化技術において従来の方法で行われ、特に測定位置 $PM_1 \sim PM_k$ へのセンサの移動に対応する横断材、可動ラック、測定センサの駆動モータの制御パラメータの決定を含む。

【0065】被測定物体のワイヤーフレームと経路 TC

とは、表示画面上に線で表示されることが好ましい。その場合作業者はたとえば、ある特定の区域において経路を変更することが可能である。

【0066】図8について説明する。概略的に言って形状測定センサ3は、関節をもちモータで駆動される第1ハンドル31を含み、その端部には測定用光学センサ33と、関節をもちモータで駆動される第2ハンドル34であってその上に位置標定ビデオカメラ35が取り付けられているハンドルとための支持体32が固定されている。

【0067】第1ハンドル31は、自由度が3であると呼称される従来のロボットハンドルであって、図1に例示するような把握器具141に連結されるよう機械的に適合され、例示しない電氣的接続部および情報処理接続部を含むハンドルである。変形例においては、ハンドル31が、前記に説明した台2のみに使用する把握器具141に近接するラック14の下端に取り外し不可能な状態で連結されている。

【0068】有関節第1ハンドル31によって、水平面（0、X、Y）に対する位置と、軸Xに対する光学センサ33の方位が決められる。

【0069】光学センサ33は物体の表面部分を次々に測定し、位相符号化輪郭形状測定技術により被測定物体の三次元形状が導かれる。図9について説明する。センサ33（FR-A-2 664 377）は概略的には、自らの方向に対し直角な方向に光度の空間変化を示す縞または平行線332をもつ照準331を照明する光源330を含む。照準331を横断する光線は光学システム333を通して既知の方法で投影され、被測定物体15の表面部分に照準の像が形成される。2π/Pの位相ずれピッチをもつ縞のP個の域は、照準341の横送りによって次々と投影されることが好ましい。ここでPはたとえば4または8である。平らで長方形の支持体上に配置された光検出器334により、光学システム335を通過する照準の像が検出される。光検出器334上の線332の像は被測定物体の表面部分を表わしている。

【0070】センサ33についての局部座標系（0S、XS、YS、ZS）において軸ZSは光検出器334の面に直交するので、被測定物体15の表面部分の点の寸法値は各光検出器334が受け取る光信号の位相を分析することにより求められる。たとえばP=4の場合、光検出器から発射される信号は以下のような形態である。

$$S_0 = a + b \cdot \cos \phi$$

$$S_1 = a + b \cdot \sin \phi$$

$$S_2 = a - b \cdot \cos \phi$$

$$S_3 = a - b \cdot \sin \phi$$

【0071】これら式において、aとbは、各々、周囲光度15と物体の表面部分の反射能に依存する未知の係数であり、φは光検出器の信号の2πを法とする位相であり、次式によって得られる。

【0072】

【数1】

$$\phi = \arctan \frac{S_1 - S_3}{S_0 - S_2}$$

【0073】位相φは2πの精度で求められる。第1照準の縞のピッチとは異なるピッチをもつP個の縞の域であって、ある域から次の域までの間に2π/Pだけ位相がずれる域を第2照準を用いて投影し、光検出器の信号に関して同様な計算を行うことにより、この位相の不確定性は取り除かれる。

【0074】センサ33の局部座標系（0S、XS、YS、ZS）において、被測定物体15の表面部分の点の寸法値は光検出器の出力信号の位相の絶対値より求められる。物体の表面の諸点の横座標と縦座標とは、従来の方法によるセンサ33の較正によって所定の関係による光検出器の横座標と縦座標とに依存する。

【0075】センサ33の有効測定体積はたとえば、軸XS上で600mm、軸YS上で400mm、軸ZS上で300mmであり、光検出器は軸XSおよびYS上でおおむね1.5mmを適用範囲とし、軸ZSで0.10mm程度の精度をもつ。軸XSおよびYS上のセンサの測定寸法は光検出器334の平らで長方形の支持体の寸法に等しく、それによりセンサ33の作用域が決まる。

【0076】再度図8について説明する。有関節第2ハンドル34により、支持体32すなわち光学センサ33に対するカメラ35の方位が決められる。有関節アーム34は、±5μ程度の高精度の不連続の位置決めを採用するためモータによって駆動される。可能な方位数は典型的には、数百から千の間である。

【0077】位置標定カメラ35は、位置標定座標系（0R、XR、YR、ZR）をもつCCDカメラである。特にフレーム1の構造の理由から十分な精度では知りえなかった、固定座標系（0、X、Y、Z）における測定位置PM_rの座標値（XM_r、YM_r、ZM_r）が、カメラ35によって正確に決定される。

【0078】前記で説明したように、センサ3の1つの測定位置PM_rには、フレームの座標系（0、X、Y、Z）において座標値が完全にわかっている標的によって物理的に示されている点を含む少なくとも3つの位置標定パネル16₁、16₂、16₃が、関連づけられている。

【0079】カメラ35は3つの位置標定パネルに次々と向けられる。カメラ35の光軸と各パネルとの交点は、座標系（0、X、Y、Z）における標的の座標値がわかっているため、座標系（0、X、Y、Z）におけるこの交点の座標値により正確に求められる。

【0080】カメラ35が3つのパネルに向けられた時の3つの交点とカメラの方位により、3つのセカント直線が決まる。実験の結果、カメラ35と3つの位置標定パネル16₁、16₂、16₃とが、パネルの高さが種

々であることにより実現される同一の面内でない場合、これら3つの直線がより高い精度で決められることがわかった。

【0081】これら3つの直線の交点は、後に設定する位置標定座標系の中心ORである。軸ZRは、交点のいずれか1つと中心ORとを通る直線上にある。軸XR、YRは、位置標定直交座標系の第2、第3軸を形成するため回転することにより求められる。センサの位置PM_iについては、このようにして位置標定座標系から固定座標系への第1変換行列TRが完璧に確立される。

【0082】他方、センサ33の座標系(OS、XS、YS、ZS)から位置標定座標系(OR、XR、YR、ZR)への第2変換行列TRSは、有関節ハンドル34の方位によって確立される。

【0083】変換行列TRおよびTRSにより、センサの座標系において表わされる座標値であって、被測定物体の表面部分の任意の点の座標値(X_i、Y_i、Z_i)を、固定座標系において表わされる点の座標値(X_r、Y_r、Z_r)に変換することができる。

【0084】

【数2】

$$\begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{bmatrix} = TRS \times TR \times \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix}$$

【0085】上式においては、行列TRSと行列TRとの乗算により、センサ33の座標系から固定座標系への変換の第3行列が得られる。

【0086】変形例においては、支持体32がラック14に堅固に連結され、センサ33がハンドル34と同様の関節をもったハンドルを介して支持体32に接続され、カメラ35がハンドル34を介して支持体32に接続されている。別の変形例においては、測定センサ3は節をもったハンドルも位置標定カメラ35も含まない。センサ3の位置の標定は測定センサ33により前記と同様の方法で行われる。この場合、測定センサ33は交互に位置標定と被測定物体の測定とに使われる。

【0087】さらに別の変形例においては、測定センサ3は、少なくとも5つの超音波変換器であってうち4つが2つずつ反対方向に向けられる等水平面内で異なる方向に向けられ、1つが垂直に下に向けられているような超音波変換器により、センサ3の移動時に障害物の接近を検出する衝突防止装置を含む。衝突防止装置は、センサ3が障害物から十分な距離を保つよう、測定時間中常時監視する。衝突防止装置は禁止区域の決定を補完するもので、段階E10では存在しなかったがここでは存在する障害物がセンサ3の経路上に来る可能性がある場合には非常に有用である。

【0088】図10について説明する。主段階E30は、フレームのラック14の把握器具141にセンサ3

を取り付ける第1段階E31を含む。この段階はセンサと把握器具との物理的接続と電氣的接続、情報处理的接続を含む。センサ3が取り外しが不可能な方法でラック14に連結されている場合には、取り付け段階は実行されない。

【0089】段階E32は測定の初期化である。センサ33についての座標系の中心OSが測定位置PM_iと一致し、センサと座標系(OS、XS、YS、ZS)の方位が固定座標系(O、X、Y、Z)に対する第1位置PM_iの位置SM_iと方位GM_iによって決められる方位となるよう、測定センサ3は取り付け位置から移動し、経路TC上の第1測定位置PM_iに位置決めされる。

【0090】次に経路TC上の各測定位置PM_i～PM_nについて段階E33～E36が実行される。

【0091】段階E33では、測定センサ3が位置PM_{i-1}から位置PM_iまで移動する。既に説明したように、この移動は経路TCによって決まり、横断材13と、ラック14と、有関節ハンドル31との同時または逐次移動によって実現される。

【0092】センサ3が測定位置PM_iに達すると、およそ10～20秒というように所定の時間の経過後、表面部分の位置標定と測定とが行われる。その際、センサは前記時間の経過後もその位置は変わっていないとみなす。

【0093】段階E34は、図9を参照して説明したような物体15の表面部分の測定を行う段階である。

【0094】段階E35は、前記で説明したように位置標定カメラ35を順次3つのパネル16_a、16_b、16_cに向けることにより、フレーム1についての固定座標系(O、X、Y、Z)におけるセンサ33の位置の標定を行う段階である。

【0095】変形例においては測定段階と位置標定段階とが同時に行われ、また別の変形例においては測定の前に位置標定が行われる。

【0096】段階E36は、段階E34で測定された座標値の座標系をセンサの座標系に変換し、フレームについての固定座標系(O、X、Y、Z)において前記座標値を表わす段階である。この段階は、既に説明したように、測定センサの座標系と、位置標定座標系と、固定座標系との間の変換の行列計算により行われる。その後、固定座標系(O、X、Y、Z)において表わされる座標値が記憶される。

【0097】段階E37は、センサが経路TC上の全ての位置PM_i～PM_nを走査したかどうかを確認する段階である。走査が未完の場合には、未完位置について段階E33～E37が実行される。経路TC全体の走査が終わると、測定を行う主段階E30は終了する。

【0098】作業者が介入して段階E32～E36に変更を施すことができることが好ましい。その場合、作業者はとくに、ある表面区域において測定を行わないよう

19

にするため、幾つかの位置測定をとりやめることができる。また、経路TCを、それぞれが被測定物体の一部に相当する部分経路に分割することも可能である。部分経路はセンサによって順次走査される。また作業者は、被測定物体の一部をより正確に測定するため追加の測定位置を設定することができる。追加測定位置は経路上の2つの測定位置間に挿入され経路を修正する役目を果たすか、変形例においては追加経路を形成し本来の経路TRの後走査される。

【0099】すでに説明したように、主段階E30の結果は段階E40で処理され物体15の数学的モデルが決められる。

【図面の簡単な説明】

【図1】形状測定センサを具備する、本発明による三次元測定装置の斜視図である。

10

*【図2】本発明による三次元測定方法の主な段階のブロックダイアグラムである。

【図3】本発明による物体表面ワイヤーフレームの決定アルゴリズムである。

【図4】本発明による超音波変換器台の略図である。

【図5】固定座標系内の超音波変換器台の位置を示す、超音波変換器台の斜視略図である。

【図6】本発明による形状測定センサの表面ワイヤーフレームと経路の一部の略図である。

【図7】本発明による形状測定センサの経路の決定アルゴリズムである。

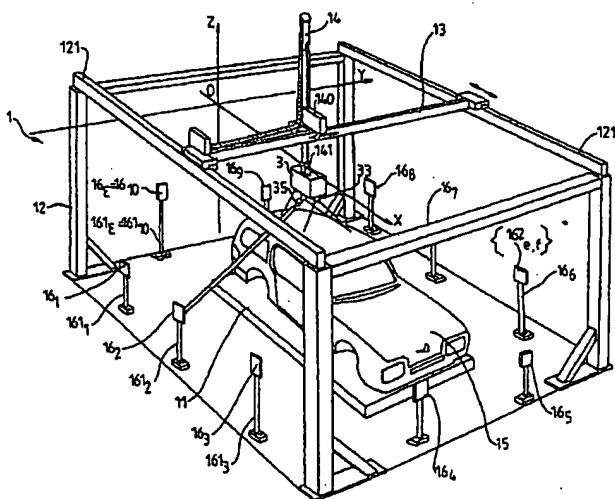
【図8】本発明による形状測定センサの略図である。

【図9】測定する物体の表面部分の上方にある形状測定センサの概略線図である。

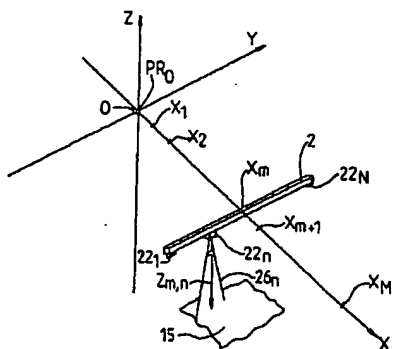
*

【図10】本発明による形状測定アルゴリズムである。

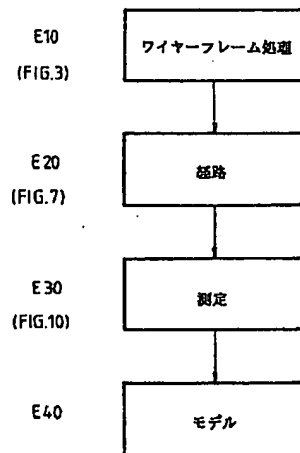
【図1】



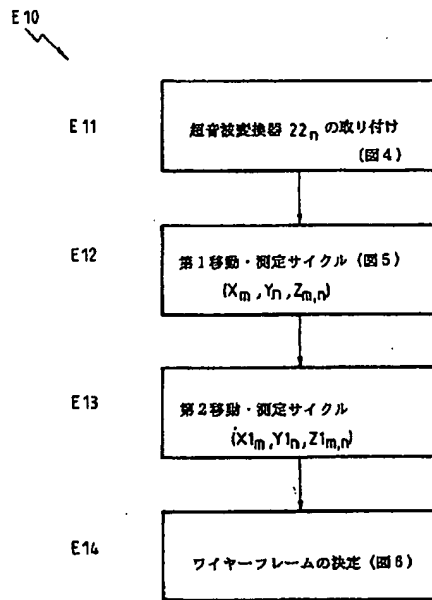
【図5】



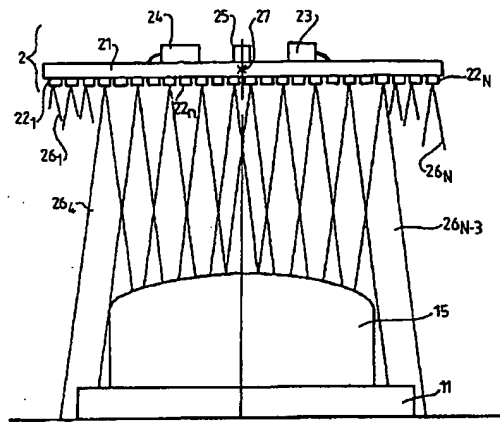
【図2】



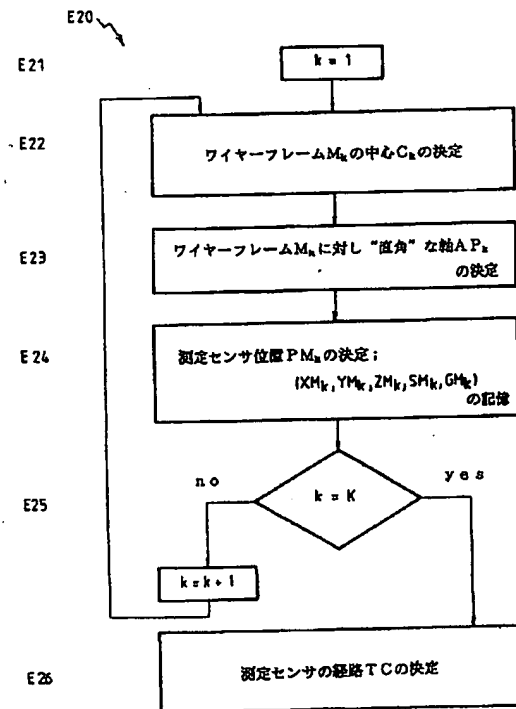
【図3】



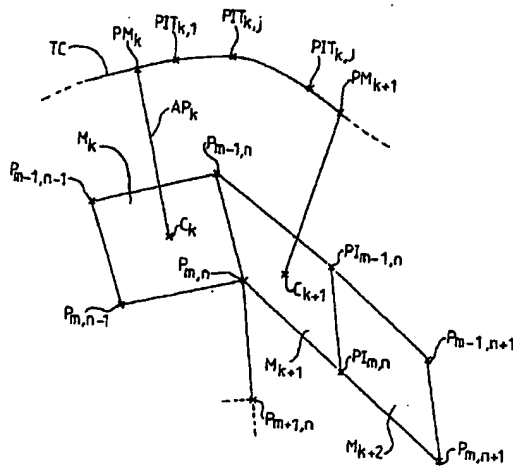
【図4】



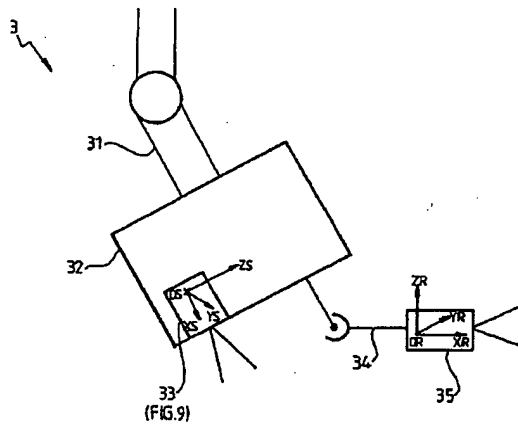
【図7】



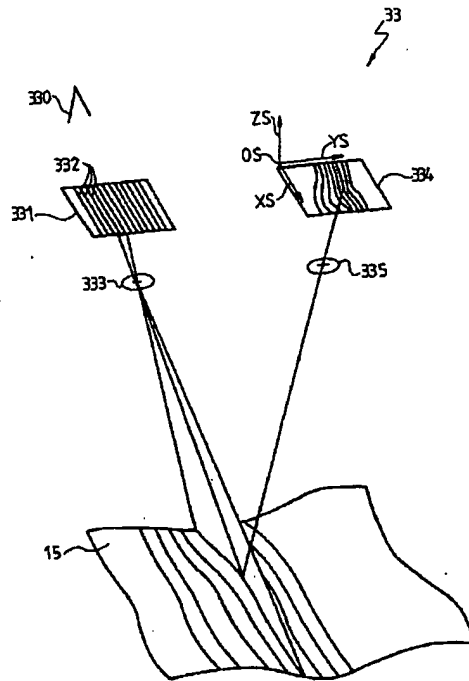
【図6】



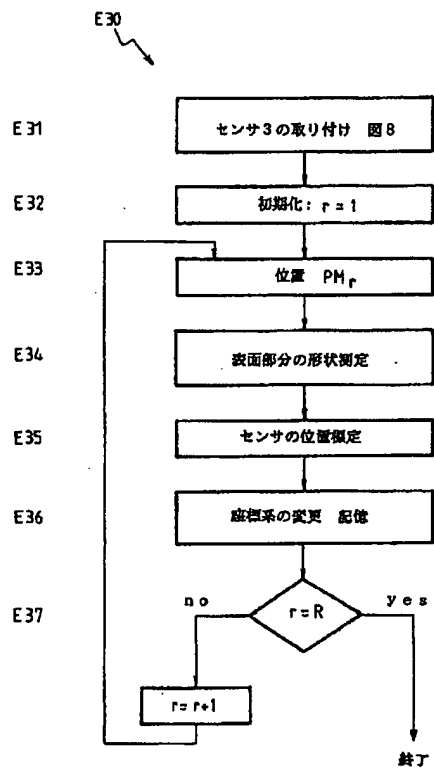
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(71)出願人 595089075

ソラック

SOLLAC

フランス国, 92070 ラ デファンス,
ラ デファンス 7, クール ヴァル
ミー 11-13番地, イムーブル パシフ
イック

(72)発明者 ラウール アンリ ジャン-リュック マ
イヤール

フランス国, 13320 ブーク ベル エ
ール, ドメーヌ ドゥ ラ サル 601
番地

(72)発明者 ミシェル ルキーム

フランス国, 13510 エギユ, リュ
デ スーリー 6 番地

(72)発明者 バスカル ベラミー

フランス国, 60300 サンリス, ロン
ブワン ドゥ マルジェネスト 8 番地

(72)発明者 ガブリエル ドゥ スメ

フランス国, 95880 アンギャン レ
バン, ブールパール デュ ラーク 30
番地